

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE MINAS GERAIS  
Programa de Pós-graduação em Odontologia

Fernando Zander Mucci Santiago

**NOVA ABORDAGEM PARA ESTUDOS ENVOLVENDO APLICAÇÃO  
DE CARGAS OCLUSAIS EM ANÁLISES NÃO LINEARES  
RELACIONADAS À BIOMECÂNICA ODONTOLÓGICA,  
PELO MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS**

Belo Horizonte  
2012

Fernando Zander Mucci Santiago

**NOVA ABORDAGEM PARA ESTUDOS ENVOLVENDO APLICAÇÃO DE CARGAS  
OCLSAIS EM ANÁLISES NÃO LINEARES RELACIONADAS À BIOMECÂNICA  
ODONTOLÓGICA, PELO MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Odontologia da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Odontologia, área de concentração: Implantodontia.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Isaias Seraidarian

Belo Horizonte

2012

## FICHA CATALOGRÁFICA

Elaborada pela Biblioteca da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

S235n Santiago, Fernando Zander Mucci  
Nova abordagem para estudos envolvendo aplicação de cargas oclusais em análises não lineares relacionadas à biomecânica odontológica, pelo método de elementos finitos / Fernando Zander Mucci Santiago. Belo Horizonte, 2012.  
36f.: il.

Orientador: Paulo Isaias Seraidarian  
Dissertação (Mestrado) – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais.  
Programa de Pós-Graduação em Odontologia.

1. Métodos de elementos finitos. 2. Teorias não-lineares. 3. Biomecânica. 4. Oclusão dentária. I. Seraidarian, Paulo Isaias. II. Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Programa de Pós-Graduação em Odontologia. III. Título.

SIB PUC MINAS

CDU: 616.314-089.843

**Fernando Zander Mucci Santiago**

**NOVA ABORDAGEM PARA ESTUDOS ENVOLVENDO APLICAÇÃO DE CARGAS OCLUSAIS EM ANÁLISES NÃO LINEARES RELACIONADAS À BIOMECÂNICA ODONTOLÓGICA, PELO MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Odontologia da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Odontologia. Área de Concentração: Implantodontia.

**COMPOSIÇÃO DA BANCA EXAMINADORA:**

- 1- Prof. Dr. Gustavo Diniz Greco – FEAD
- 2- Prof. Dr. Élton Gonçalves Zenóbio – PUC Minas
- 3- Prof. Dr. Paulo Isaias Seraidarian – PUC Minas

**DATA DA APRESENTAÇÃO E DEFESA: 25 de setembro de 2012**

**A dissertação, nesta identificada, foi aprovada pela Banca Examinadora**

Belo Horizonte, 18 de outubro de 2012

Prof. Dr. Paulo Isaias Seraidarian  
**Orientador**

Prof. Dr. Martinho Campolina Rebello Horta  
**Coordenador do Programa de Pós-graduação  
em Odontologia - Mestrado**

A meus pais.

(Yvonne Mucci – *in memoriam*)

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por toda sua criação. A Zita e Euro, por tornarem real um ideal há muito considerado impossível. À Eliana, pela presença e companheirismo sempre indispensáveis. Ao Prof. Dr. Janes Landre Jr. e Instituto Politécnico da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, cujo apoio tornou possível à realização deste trabalho. Ao Prof. Dr. Paulo Isaias Seraidarian, pela sábia e decisiva orientação. Ao corpo docente e funcionários do Curso de Mestrado Profissionalizante em Implantodontia da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, por todo o aprendizado e auxílio a mim proporcionados. Aos colegas de classe, pela amizade e, sempre importante, troca de aprendizado.

“O hábito de só pensar o óbvio é a pior forma de distração.”

(VERÍSSIMO, 2008)

## RESUMO

O objetivo desta pesquisa foi apresentar uma nova abordagem no estudo do carregamento de forças oclusais relacionado à odontologia, pelo método de elementos finitos. Foram obtidos modelos CAD tridimensionais simulando a porção coronária de um segundo molar inferior direito, seu elemento antagonista, o componente intermediário protético, implante dental, e osso adjacente. A partir destes, foram gerados os modelos FEM, bem como definição das propriedades, ensaios e cinematismo. Implante, componente protético, coroa dental e osso, formaram uma unidade na qual, por meio do carregamento oclusal, foi aplicada uma força dinâmica, cujo valor variou de 0 N a 572 N. O software Abaqus v. 6.9.1, utilizado para a simulação oclusal, promoveu a estabilização da mordida, contatos oclusais e adequada distribuição de cargas. Foram utilizadas, neste trabalho, a não linearidade geométrica e de contato. Os softwares utilizados foram: Hyperworks v. 10, nas etapas de pré e pós-processamento; Abaqus v. 6.9.1, na análise numérica. Com a imposição do carregamento de forma linear e dinâmica houve um incremento de tensão na região dos contatos, de valor final 150 MPa. Observou-se distribuição de tensões no interior do elemento coronário, com valor máximo limitado à região externa da coroa, mostrando a influência e minimização das tensões relacionadas à geometria e propriedades dos materiais envolvidos. No implante, notou-se tensão máxima de 499 MPa, em sua região cervical. Os resultados aqui observados demonstraram ser este método viável e promissor para pesquisas relacionadas à biomecânica odontológica.

Palavras chave: Análise de elementos finitos. Não linearidade. Carregamento oclusal. Biomecânica.

## ABSTRACT

The aim of this research was to present a new approach in the study of occlusal force loading related to dentistry, by the finite element method. Three-dimensional CAD models were obtained by simulating the coronary portion of a mandibular second molar right, your element antagonist, intermediate component prosthetic, dental implant, and adjacent bone. From these, FEM models were generated, as well as setting the properties, tests and kinematic motion. Implant, prosthetic component, dental crown and bone, formed a unit in which, through the occlusal loading, was a dynamic force, whose value varied from 0 N to 572 N. The Abaqus v. 6.9.1 software, used for occlusal simulation, promoted the stabilization of bite, adequate distribution of occlusal contacts and loads. Were used in this work, the geometric non-linearity and contact nonlinearity. The software used was: Hyperworks v. 10, in pre and post-processing steps; Abaqus v. 6.9.1, in numerical analysis. With the imposition of a linear and dynamic load there was an increase of tension in the region of contacts, final value 150 MPa. It was observed stress distribution within the coronary element, with maximum value limited to the outer region of the Crown, showing the influence and minimization of tensions related to the geometry and properties of the materials involved. The implant noted maximum tension in its cervical region of 499 MPa. The results proved this method here observed viable and promising to dental biomechanics related research.

Keywords: Finite element analysis. Nonlinear. Occlusal loading. Biomechanics.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>17</b>
<b>2 OBJETIVOS .....</b>	<b>18</b>
<b>2.1 Objetivo geral.....</b>	<b>18</b>
<b>2.2 Objetivos específicos.....</b>	<b>18</b>
<b>3 ARTIGO .....</b>	<b>19</b>
<b>4 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>35</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>36</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O método de elementos finitos é utilizado em diversas áreas da odontologia envolvendo problemas relacionados às análises biomecânicas (WILLIAMS; EDMUNDSON, 1984; KOOLSTRA; EIJDEN, 2004; SATO et al., 2012). Este método consiste de análise computadorizada onde um meio é discretizado em elementos, mantendo-se suas propriedades originais, e, desta forma, obtém-se a resolução de problemas de ordem estrutural. Equações diferenciais descrevem os elementos e modelos matemáticos proporcionam sua resolução (GENG; TAN; LIU, 2001). A análise de elementos finitos apresenta três fases: pré-processamento, análise numérica e pós-processamento (COOK et al., 2002).

Na prática odontológica, os materiais sofrem alterações de acordo com as cargas a que são submetidos. Desta forma, a possibilidade de estudos não lineares se apresenta como um processo mais preciso nas análises que envolvem o método de elementos finitos (WAKABAYASHI et al., 2008). As alterações na rigidez dos materiais, durante o processo de deformação a que normalmente são submetidos, quando considerados em análises não lineares, implicam em uma constante atualização das equações necessárias à solução do problema em questão, a fim de se obter resultados mais confiáveis (FERTIS, 1999; COOK et al., 2002). Existem três tipos de não linearidade, relacionados à origem do comportamento não linear. A não linearidade geométrica, relacionada à forma; a não linearidade de contato, que se relaciona às condições de suporte; e, por fim, a não linearidade do material, relacionada às características do material (FERTIS, 1999; COOK et al., 2002).

Nos estudos realizados na área odontológica, onde se utiliza o método de elementos finitos, com envolvimento de cargas oclusais, observa-se que o direcionamento destas cargas é de forma pré-determinada, a fim de se obter resultados satisfatórios. Este trabalho apresenta uma proposta de modelagem para o direcionamento mais adequado e realístico de cargas, utilizando, de acordo com o desejo do pesquisador, a forma de oclusão dental mais apropriada no que diz respeito às necessidades de cada situação e, a não linearidade.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

O objetivo desta pesquisa é apresentar uma proposta de modelagem para a aplicação de cargas oclusais nos estudos relacionados à odontologia, onde se utiliza o método de elementos finitos.

### **2.2 Objetivos específicos**

- a) utilização da não linearidade de contato na definição das cargas, durante a oclusão dental;
- b) verificação do estado de tensão coronário a partir dos esforços oclusais;
- c) verificação do estado de tensão de um implante curto a partir dos esforços oclusais.

### 3 ARTIGO

#### **Nova abordagem para estudos envolvendo aplicação de cargas oclusais em análises não lineares relacionadas à biomecânica odontológica, pelo método de elementos finitos**

Fernando Zander Mucci Santiago<sup>1</sup>

André Dias Henriques<sup>2</sup>

Marcus Vinicius Bortal O. Braga<sup>3</sup>

Janes Landre Jr.<sup>4</sup>

Paulo Isaias Seraidarian<sup>5</sup>

#### **Resumo**

O objetivo deste estudo foi apresentar uma nova abordagem no estudo do carregamento de forças oclusais relacionado à odontologia, pelo método de elementos finitos. Foram obtidos modelos CAD tridimensionais simulando a porção coronária de um segundo molar inferior direito, seu elemento antagonista, o componente intermediário protético, implante dental, e osso adjacente. A partir destes, foram gerados os modelos FEM, bem como definição das propriedades, ensaios e cinemático. Implante, componente protético, coroa dental e osso, formaram uma unidade na qual, através do carregamento oclusal, foi aplicada uma força dinâmica, cujo valor variou de 0 N a 572 N. O software Abaqus v. 6.9.1, utilizado para a simulação oclusal, promoveu a estabilização da mordida, contatos oclusais e adequada distribuição de cargas. Foram utilizadas, neste trabalho, a não linearidade geométrica e de contato. Os softwares utilizados foram: Hyperworks v. 10, nas etapas de pré e pós-processamento; Abaqus v. 6.9.1, na análise numérica. Com a imposição do carregamento de forma linear e dinâmica houve um incremento de tensão na região dos contatos, de valor final

---

<sup>1</sup> Aluno do curso de Mestrado em Odontologia, área de concentração: Implantodontia – PUC Minas

<sup>2</sup> Departamento de Engenharia Mecânica – PUC Minas

<sup>3</sup> Engenheiro Mecânico

<sup>4</sup> Departamento de Engenharia Mecânica – PUC Minas

<sup>5</sup> Departamento de Odontologia – PUC Minas

\*Contatos do autor: Tel.: +55 31 34261862 // E-mail: fzms@uai.com.br

150 MPa. Observou-se distribuição de tensões no interior do elemento coronário, com valor máximo limitado à região externa da coroa, mostrando a influência e minimização das tensões relacionadas à geometria e propriedades dos materiais envolvidos. No implante, notou-se tensão máxima de 499 MPa, em sua região cervical. Os resultados aqui observados demonstraram ser este método viável e promissor para pesquisas relacionadas à biomecânica odontológica.

Palavras chave: Análise de elementos finitos. Não linearidade. Carregamento oclusal. Biomecânica.

## 1 INTRODUÇÃO

A origem do método de elementos finitos remonta ao ano de 1851, quando Schellback escreveu uma expressão de diferenças finitas para uma área total discretizada em triângulos retângulos, substituindo, assim, equações diferenciais por um conjunto de equações algébricas. Aplicações em problemas de elasticidade plana e placas curvas foram reportadas em 1941. O método de elementos finitos, como hoje é conhecido, se originou em 1943, com o trabalho de Courant, determinando a rigidez torcional de um eixo oco por meio de sua discretização e aplicação de propriedades aos, hoje conhecidos, nós. Engenheiros da indústria aeronáutica obtiveram grande progresso neste método nos anos 1950. O nome “elementos finitos” foi descrito pela primeira vez por Clough, em 1960 (COOK et al., 2002).

O método de elementos finitos consiste de análise computadorizada visando à resolução de problemas estruturais, onde um meio é discretizado em elementos, mantendo-se suas propriedades originais. Os elementos são descritos por equações diferenciais e resolvidos por modelos matemáticos (GENG et al., 2001).

As fases da análise de elementos finitos são: a) pré-processamento – onde dados de geometria, propriedades do material, cargas, dentre outros, são inseridos. Desta forma é gerada uma malha de elementos finitos, com a definição do tipo de elementos e densidade da mesma. b) análise numérica – são geradas matrizes e, a combinação destas, fornece uma equação geral que representa a estrutura dos elementos finitos. c) pós-processamento – a solução para a equação proposta é listada ou graficamente demonstrada (COOK et al., 2002).

O grande interesse da odontologia por desenvolver estudos pelo método de elementos finitos, nas mais diversas especialidades, deve-se ao fato deste se mostrar de grande importância nas análises mecânicas teciduais e relacionadas a materiais dentários, que, de

outra forma, seriam mais trabalhosas e imprecisas, ou, até mesmo, impossíveis de serem realizadas (WILLIAMS; EDMUNDSON, 1984; AUSIELLO et al., 2002; KOOLSTRA; EIJDEN, 2005; OLIVEIRA et al., 2006; SATO et al., 2012).

A rigidez, propriedade de uma peça que caracteriza sua resposta à carga aplicada, define a base da análise não linear (FERTIS, 1999; COOK et al., 2002; WAKABAYASHI et al., 2008).

Alguns fatores afetam a rigidez, tais como: forma, material e tipo de suporte (FERTIS, 1999; COOK et al., 2002; WAKABAYASHI et al., 2008).

Quando uma estrutura deforma-se sob uma carga, sua rigidez é alterada. Se esta deformação é grande, sua forma pode mudar. Caso o material atinja seu patamar de escoamento, suas propriedades irão se alterar. Na análise não linear, devido à presença de alteração na rigidez durante o processo de deformação, as equações relacionadas à solução do problema devem ser atualizadas a fim de se obter resultados satisfatórios. Isto aumenta o tempo necessário ao processamento de dados, porém, propicia resultados mais precisos (FERTIS, 1999; COOK et al., 2002).

A não linearidade é um processo mais próximo da realidade odontológica, onde os materiais se alteram de acordo com as cargas aplicadas (WAKABAYASHI et al., 2008).

O processo de alteração de rigidez é comum a todos os tipos de análise não linear, porém, a origem do comportamento não linear pode ser diferente. Desta forma, podem-se classificar as análises não lineares de acordo com esta origem. Existem três tipos de não linearidade: a) geométrica – as alterações de rigidez se relacionam à forma. b) de contato – condições de suporte, incluindo contatos, se alteram durante a aplicação de cargas. c) do material – alterações de rigidez ocorrem devido a alterações nas características do material em condições de funcionamento (FERTIS, 1999; COOK et al., 2002).

Nas pesquisas relacionadas à odontologia, envolvendo cargas oclusais, quando se utiliza o método de elementos finitos, observa-se, geralmente, a aplicação de cargas pé-direcionadas a fim de se obter resultados adequados. Este estudo objetiva a demonstração de uma proposta de modelagem para o direcionamento e aplicação mais adequados e realísticos de cargas, utilizando a oclusão dental mais apropriada a cada situação e a não linearidade.

## **2 MÉTODOS**

Foram obtidos modelos CAD tridimensionais, a partir do acervo de modelos matemáticos da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, departamento de

Odontologia, de um segundo molar inferior direito, porção coronária, bem como seu respectivo elemento antagonista e porção óssea mandibular adjacente. Os modelos referentes ao implante dental e componente protético foram obtidos por mensurações realizadas em um implante da empresa Straumann® Dental Implant System, com as dimensões de 6 mm de comprimento, 4.1 mm de diâmetro, RN, cód. 043.030S. O intermediário protético mensurado, também da mesma empresa, foi o pilar de titânio sólido de 5.5 mm, cód. 048.541.

A partir dos modelos CAD, foram gerados os modelos FEM, das respectivas estruturas supracitadas, bem como a definição das propriedades, ensaios e cinematismo.

As propriedades aplicadas aos modelos (Tabela 1) (REILLY; BURSTEIN, 1974; ASTM, 1995; O'BRIEN, 2002), necessárias ao adequado funcionamento do software de simulação, foram utilizadas apenas a título de demonstração. Desta forma, no caso da porção coronária, foram utilizadas as propriedades da porcelana odontológica. Também seria possível, da mesma forma, serem aplicadas as propriedades dentais, de outros materiais restauradores ou de outras estruturas orais, no caso de diferentes simulações, ficando isto a critério do pesquisador, de acordo com as necessidades de cada estudo.

Em relação aos ensaios e cinematismo, o implante foi inserido virtualmente no osso mandibular e, da mesma forma, componente protético e coroa do elemento inferior foram inseridos neste conjunto. Foi simulada uma oclusão do tipo cúspide-fossa, com contatos tripoidais, utilizando-se o software Abaqus v. 6.9.1, alinhando-se os elementos coronários antagonistas virtualmente e promovendo a oclusão na posição desejada (Fig. 1). A carga oclusal foi obtida a partir de um modelo não linear dinâmico, simulando a condição de oclusão com aperto dos dentes, cujo valor variou de 0 N a 572 N (BAKKE et al., 1990). O modelo do elemento superior foi posicionado a fim de se obter somente os contatos demonstrados, facilitando, assim, a convergência dos cálculos numéricos e, conseqüentemente, a visualização dos resultados (Fig. 2). O software promoveu a estabilização da mordida, contatos oclusais e a adequada distribuição de cargas relacionadas a estes contatos.

Para o desenvolvimento do modelo de elementos finitos, de forma a simular a influência das cargas oclusais na distribuição das tensões sobre o implante, foram utilizadas as modelagens não lineares do tipo geométrico e de carga.

Os softwares utilizados para a realização desta análise foram: Hyperworks v. 10, nas etapas de pré e pós-processamento; Abaqus v. 6.9.1, na análise numérica.

Os modelos utilizaram elemento sólido C3D4 – tetraédricos, com 3 graus de liberdade no nó, e Kincoup – rígido.

### 3 RESULTADOS

Após a imposição, sobre o elemento dental inferior, do elemento superior, foi gerada uma malha FEM com 57670 nós e 261534 elementos para a coroa dental inferior, 3446 nós e 14666 elementos para o componente protético, 7388 nós e 31448 elementos para o implante e 63974 nós e 308370 elementos para o osso mandibular (Fig. 3A-D).

Com a imposição do carregamento de forma não linear e dinâmica, variando de 0 N a 572 N, foi observado um incremento de tensão na região dos contatos, cujo valor final foi de 150 Mpa, em von Mises (Fig. 4A-D).

Além da distribuição de tensão na superfície devido ao contato entre os dentes, foi observada também uma distribuição das tensões pelo interior do elemento coronário (Fig. 5). Notou-se que a máxima tensão, em von Mises, não ultrapassou 150 MPa, e limitou-se a região mais externa da coroa, mostrando que a geometria e propriedades dos materiais envolvidos influenciaram na distribuição e minimização das tensões, à medida que se caminhou em direção ao implante.

No implante, o resultado da imposição dos esforços no elemento dental inferior pode se visto conforme o modelo apresentado, onde foi observada uma tensão máxima de 499 MPa, em von Mises, na região cervical do corpo do implante (Fig. 6).

A seguir são apresentados os gráficos da variação de carga e tensão por deformação, para cada um dos materiais envolvidos (Fig. 7-9).

### 4 DISCUSSÃO

Nas pesquisas da área odontológica envolvendo resoluções pelo método de elementos finitos, observa-se, quando há uma necessidade de carregamento oclusal, a utilização de cargas pré-direcionadas de acordo com a necessidade de cada situação (Fig. 10) (AUSIELLO et al., 2002; GENOVESE et al., 2005). Também, nestes casos, utilizam-se elementos de transição com a finalidade de se simular os contatos dentais, obtendo-se a distribuição adequada de forças (Fig.11) (OLIVEIRA et al., 2006). As análises, nestas situações, são geralmente realizadas de forma linear elástica ou não linear geométrica, o que, no primeiro caso, limita a análise ao patamar de escoamento do material e, no segundo caso, ignora as demais propriedades da não linearidade produzindo resultados imprecisos.

A não linearidade de contato foi realizada, neste estudo, de forma a possibilitar que os esforços fossem impostos, não pelo pré-direcionamento de uma carga diretamente sobre o

elemento dental, mas através da movimentação de oclusão do elemento dental antagonista, em relação ao elemento inferior. No desenvolvimento do modelo, foi utilizado um recurso no qual a carga aumenta quando encontra restrição de movimento, desta forma, foi possível simular o incremento da força oclusal como ela realmente se apresenta, assim como o escorregamento inerente a esta ação quando os dois elementos dentais antagonistas se tocam, o que gera não apenas os carregamentos normais, ou seja, aqueles impostos verticalmente, mas, também, os laterais provenientes da diferença de angulação entre os planos dos contatos.

Os resultados obtidos se encontraram em conformidade com o que se observa na literatura em relação à distribuição de forças relacionadas ao carregamento oclusal (RANGERT et al., 1989; NELDAM; PINHOLT, 2010; DAWSON, 2007), o que demonstra uma forma de emprego deste método.

A utilização desta proposta de modelagem pode envolver as mais diversas áreas da odontologia, tais como implantodontia, dentística restauradora, prótese, dentre outras. A possibilidade de se mensurar a distribuição de forças durante todo o movimento de estabilização dental em um carregamento oclusal, associada aos avanços nos exames tomográficos e de escaneamento a laser, o que torna a anatomia dental reproduzível de forma adequada, leva a resultados mais próximos da realidade, com uma menor margem de erro. Nas análises de movimentos dentais relacionados a forças oclusais, por exemplo, obtém-se de forma mais precisa, como ocorrem às alterações de posicionamento dental para a estabilidade oclusal.

## **5 CONCLUSÃO**

Os resultados aqui observados, ao se utilizar essa proposta de modelagem, combinando-se análise não linear geométrica com não linear de contato, obtendo-se forças oclusais, bem como distribuição de cargas, de caráter dinâmico, demonstraram ser, este método, viável, previsível e promissor para as pesquisas relacionadas à biomecânica odontológica.

### **Abstract**

The aim of this study was to present a new approach in the study of occlusal force loading related to dentistry, by the finite element method. Three-dimensional CAD models were obtained by simulating the coronary portion of a second bottom right molar, its

antagonist, the intermediate component prosthetic, dental implant, and adjacent bone. From these, FEM models were generated, as well as setting the properties, testing and kinematic motion. Implant prosthetic components, dental Crown, and bone, formed a unit in which, through the occlusal loading, was a dynamic force whose value varied from 0 N to N 572. Abaqus 6.9.1 v. software, used for occlusal simulation, promoted the stabilization of bite, occlusal contacts and appropriate distribution of loads. Were used in this work, the geometric non-linearity and contact. The software used were: Hyperworks v. 10, in pre-and post-processing steps; Abaqus 6.9.1 v., in numerical analysis. With the imposition of a linear and dynamic load there was an increase of tension in the region of contacts, final value 150 MPa. Stress distribution was observed inside the element with coronary maximum value limited to the outer region of the Crown, showing the influence and minimize the tensions related to the geometry and properties of the materials involved. In the implant, maximum voltage noted 499 MPa, in his neck. The results observed here proved this method feasible and promising for research related to dental biomechanics.

**Keywords:** Finite element analysis. Non-linearity. Occlusal loading. Biomechanics.

## REFERÊNCIAS

- ASTM, F. Standart specification for unalloyed titanium for surgical implant applications. **American Society for Testing and Materials**, Philadelphia, p. 67-95, 1995.
- AUSIELLO, P. et al. Effect of adhesive layer properties on stress distribution in composite restorations – a 3D finite element analysis. **Dental Materials**, v.18, 295-303, 2002.
- BAKKE, M. et al. Unilateral, isometric bite force in 8-68-year-old women and men related to occlusal factors. **Scandinavian Journal of Dentistry Research**, v.98, p. 149-158, 1990.
- COOK, R.D. et al. Introduction. In: COOK, R.D. et al. **Concepts and applications of finite element analysis**. New York: John Wiley and Sons, 2002. Cap. 1, p. 1-18.
- COOK, R.D. et al. Nonlinearity: an introduction. In: COOK, R.D. et al. **Concepts and applications of finite element analysis**. New York: John Wiley and Sons, 2002. Cap. 17, p. 595-638.
- DAWSON, P.E. **Functional occlusion: from TMJ to smile design**. Canadá: Mosby Elsevier, 2007. 635 p.

FERTIS, D.G. Nonlinear mechanics. Washington: CRC Press, 1999. 69 p.

GENG, J. et al. Application of finite element analysis in implant dentistry: a review of the literature. **Journal of Prosthetic Dentistry**, v.85, p. 585-598, 2001.

GENOVESE, K. et al. Finite element analysis of a new customized composite post system for endodontically treated teeth. **Journal of Biomechanics**, v.38, p. 2375-2389, 2005.

KOOLSTRA, J.H.; EIJDEN, T.M.G.J. Combined finite-element and rigid-body analysis of human jaw joint dynamics. **Journal of Biomechanics**, v.38, p. 2431-2439, 2005.

NELDAM, C.A.; PINHOLT, E.M. State of the art of short dental implants: a systematic review of the literature. **Clinical Implant Dentistry and Related Research**, p. 1-11, 2010.

O'BRIEN, W.J. Dental materials and their selection. **Quintessence Books**, Canadá, p. 333-371, 2002.

OLIVEIRA, S.G. et al. Tooth displacement due to occlusal contacts: a three-dimensional finite element study. **Journal of Oral Rehabilitation**, v.33, p. 874-880, 2006.

RANGERT, B. et al. Forces and moments on Branemark implants. **International Journal of Oral and Maxillofacial Implants**, v.4, p. 241-247, 1989.

REILLY, D.T., BURSTEIN, A.H. The mechanical properties of cortical bone. **The Journal of Bone and Joint Surgery**, v.56-A, p. 1001-1022, 1974.

SATO, F.R.L. et al. Comparison of five different fixation techniques of sagittal split ramus osteotomy using three-dimensional finite elements analysis. **International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery**, v.41, p. 934-941, 2012.

WAKABAYASHI, N. et al. Nonlinear finite element analyses: advances and challenges in dental applications. **Journal of Dentistry**, v.36, p. 463-471, 2008.

WILLIAMS, K.R.; EDMUNDSON, J.T. Orthodontic movement analysed by the finite element method. **Biomaterials**, v.5, p. 347-351, 1984.

## ANEXOS

	<b>Titânio gr 4</b>	<b>Porcelana odontológica</b>	<b>Osso cortical</b>
<b>E</b>	1,05E+11	8,62E+10	1,74E+10
<b>Ty</b>	6,26E+08	5,00E+08	1,82E+08
<b>Tr</b>	7,37E+08	5,03E+08	1,95E+08
<b>v</b>	3,70E-01	1,90E-01	3,90E-01

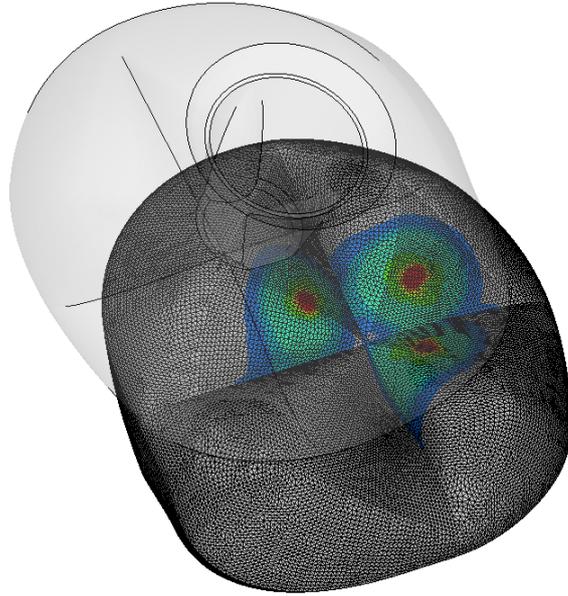
**Tabela 1: Propriedades dos materiais. E = módulo de elasticidade, em Pa. Ty = tensão de escoamento, em Pa. Tr = tensão de ruptura, em Pa. v = coeficiente de Poisson.**

**Fonte:** REILLY; BURSTEIN, 1974; ASTM, 1995; O'BRIEN, 2002



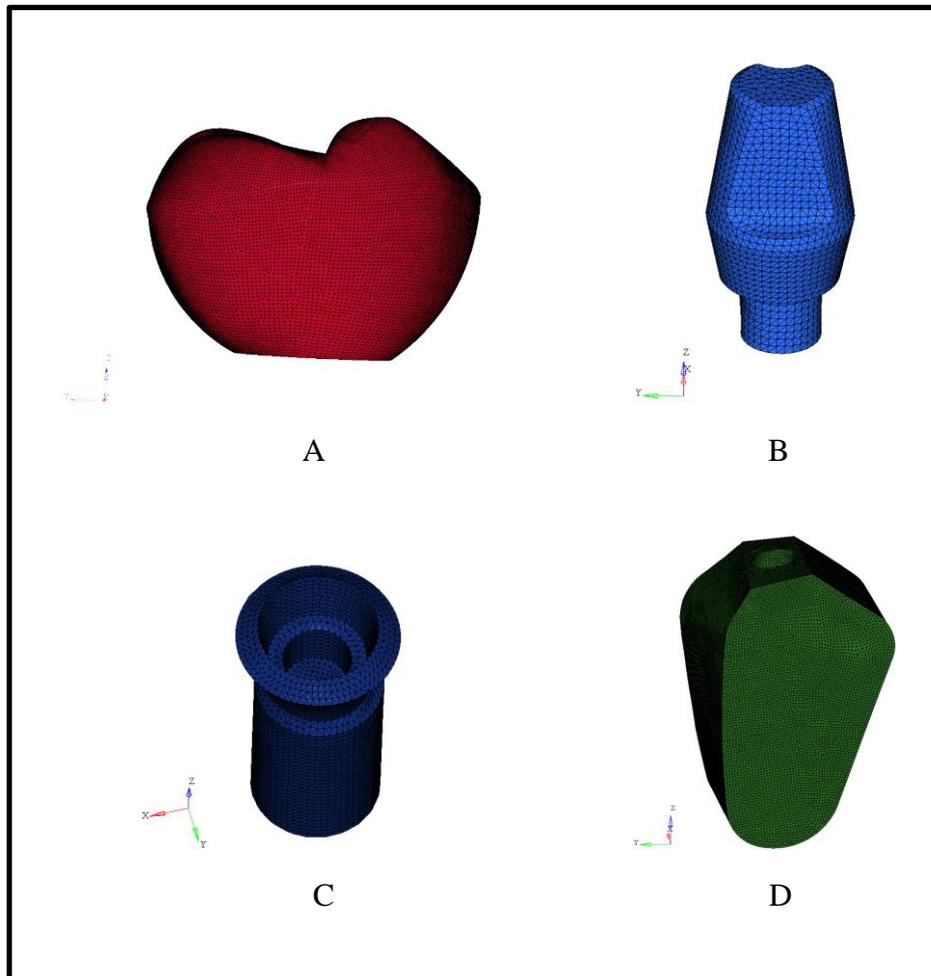
**Fig. 1: Elementos coronários posicionados.**

**Fonte:** Próprio autor



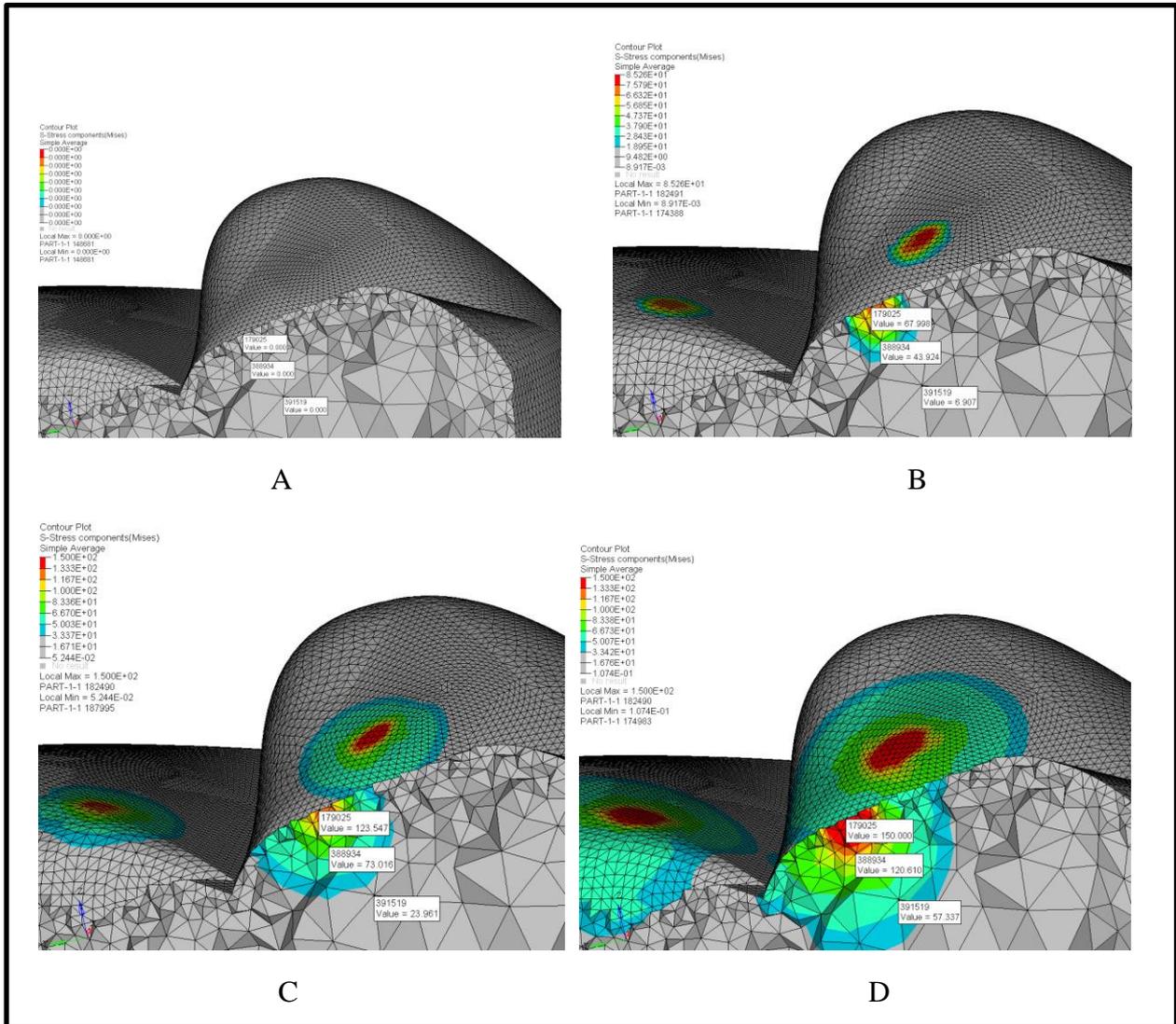
**Fig. 2: contatos obtidos através de oclusão simulada utilizando elementos antagonistas.**

**Fonte: Próprio autor**



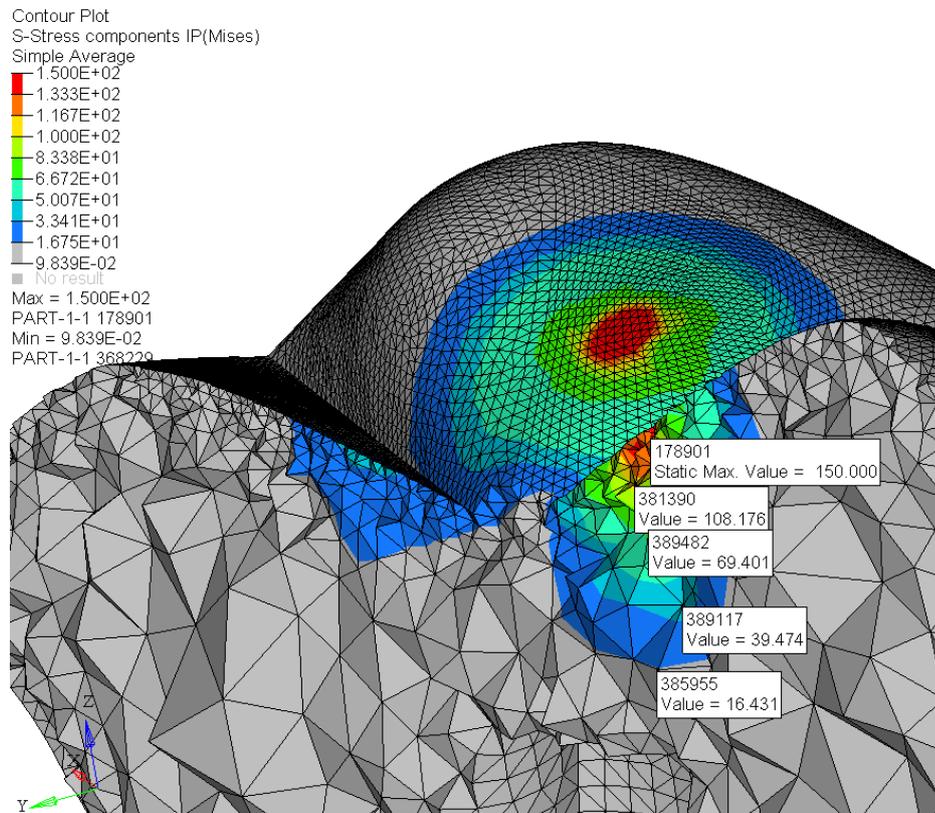
**Fig. 3A-D: malhas de elementos finitos. A = coroa dental. B = componente protético. C = implante dental. D = Osso mandibular.**

**Fonte:** Próprio autor



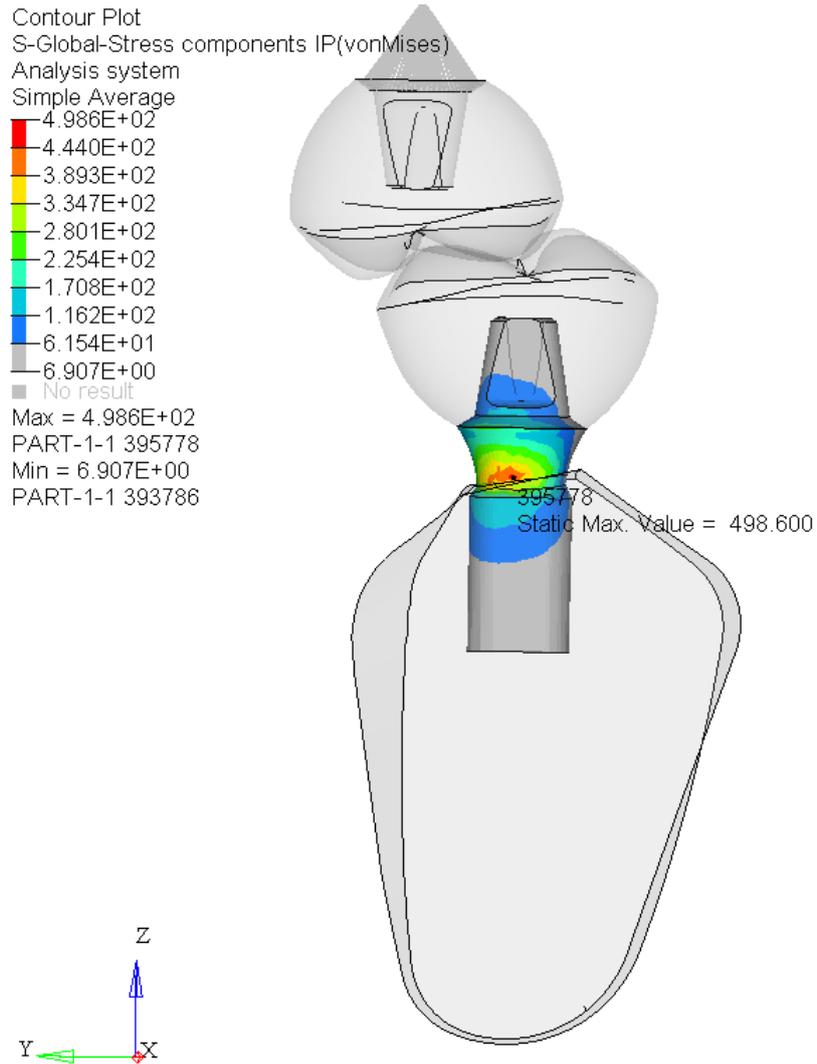
**Fig. 4A-D: tensões coronárias. A = 0% de tensão. B = 13% de tensão. C = 41% de tensão. D = 100% de tensão.**

**Fonte: Próprio autor**

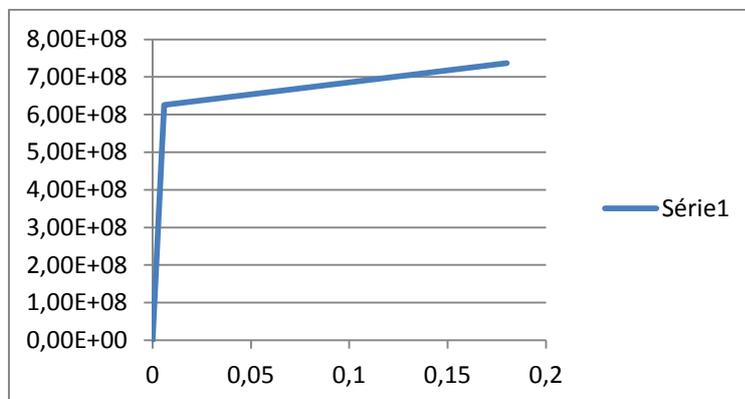


**Fig. 5: tensões no interior do elemento coronário.**

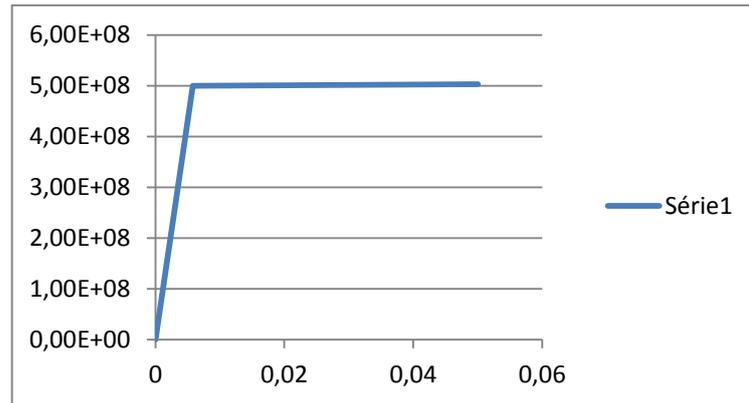
**Fonte: Próprio autor**



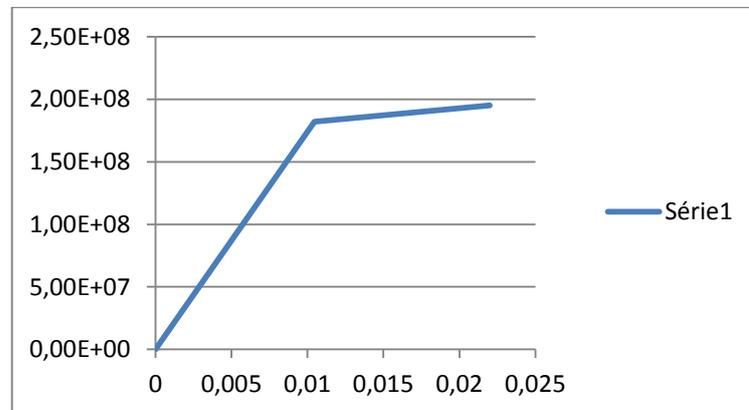
**Fig. 6: distribuição de tensão no implante.**  
 Fonte: Próprio autor



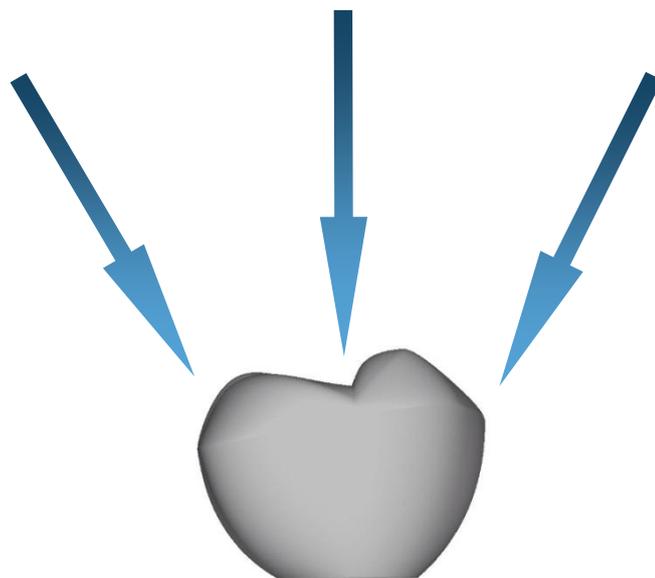
**Fig. 7: variação de carga e tensão por deformação do titânio gr 4**  
 Fonte: Próprio autor



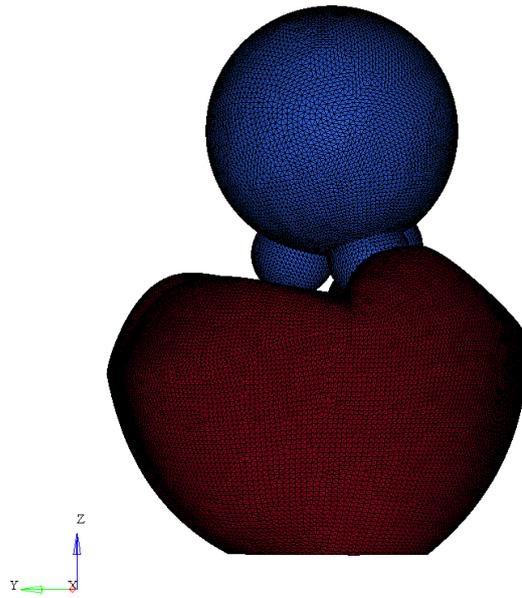
**Fig. 8: variação de carga e tensão por deformação da porcelana odontológica**  
**Fonte: Próprio autor**



**Fig. 9: variação de carga e tensão por deformação do osso cortical**  
**Fonte: Próprio autor**



**Fig. 10: pré-direcionamento de cargas oclusais.**  
**Fonte: Próprio autor**



**Fig. 11: elemento de transição para carregamento oclusal.**

**Fonte: Próprio autor**

#### **4 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Está sendo gerada uma pesquisa relacionada ao comportamento estrutural de um implante dentário curto, inserido em região posterior de mandíbula, em função da variação na altura coronária, utilizando-se o método numérico baseado em não linearidade geométrica e de contato.

## REFERÊNCIAS

COOK, R.D. et al. Introduction. In: COOK, R.D. et al. **Concepts and applications of finite element analysis**. New York: John Wiley and Sons, 2002. Cap. 1, p. 1-18.

COOK, R.D. et al. Nonlinearity: an introduction. In: COOK, R.D. et al. **Concepts and applications of finite element analysis**. New York: John Wiley and Sons, 2002. Cap. 17, p. 595-638.

FERTIS, D.G. Introduction to nonlinear mechanics. In: FERTIS, D.G. **Nonlinear mechanics**. Flórida: CRC Press, 1999. Cap. 1, p. 1-69.

GENG, J-P; TAN, K.B.C.; LIU, G-R. Application of finite element analysis in implant dentistry: a review of the literature. **Journal of Prosthetic Dentistry**, v.85, p. 585-598, 2001.

KOOLSTRA, J.H.; EIJDEN, T.M.G.J. Combined finite-element and rigid-body analysis of human jaw joint dynamics. **Journal of Biomechanics**, v.38. p. 2431-2439, 2005.

SATO, F.R.L. et al. Comparison of five different fixation techniques of sagittal split ramus osteotomy using three-dimensional finite elements analysis. **International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery**, v.41, p. 934-941, 2012.

VERÍSSIMO, L.F. Nós no mundo. In: VERÍSSIMO, L.F. **O mundo é bárbaro: e o que nós temos a ver com isso**. São Paulo: Objetiva, 2008. Cap. 1, p. 41.

WAKABAYASHI, N. et al. Nonlinear finite element analyses: advances and challenges in dental applications. **Journal of Dentistry**, v.36, p. 463-471, 2008.

WILLIAMS, K.R.; EDMUNDSON, J.T. Orthodontic movement analysed by the finite element method. **Biomaterials**, v.5, p. 347-351, Nov. 1984.